

# DETERMINAÇÃO DE ERROS DO FLUXO DE CALOR LATENTE OBTIDO PELO MÉTODO DO BALANÇO DE ENERGIA BASEADO NA RAZÃO DE BOWEN

Magna Soelma B MOURA<sup>1</sup>, Bernardo Barbosa da SILVA<sup>2</sup>,  
Pedro Vieira de AZEVEDO<sup>2</sup>, José Monteiro SOARES<sup>3</sup>, Fabrício Marcos O. LOPES<sup>4</sup>

## INTRODUÇÃO

A razão entre os fluxos de calor sensível (H) e latente (LE) foi proposta por Bowen (1926), como forma de estudar a partição de energia disponível, ficando conhecida como razão de Bowen ( $\beta$ ). O valor de  $\beta$  depende fundamentalmente das condições hídricas da superfície evaporante.

Por se tratar de um método prático de estimativa da evapotranspiração, a razão de Bowen tem sido utilizada por diversos pesquisadores. Os estudos em que se aplica o método do balanço de energia baseado na razão de Bowen (BERB) são vários; no entanto, raros são aqueles que incluem uma análise de erros associada à utilização desse método. Um dos poucos estudos reservados à discussão dos erros provocados em LE devido às medições dos parâmetros do balanço de energia foi apresentado por FUCHS & TANNER (1970). A técnica empregada por esses pesquisadores foi aprimorada por ANGUS & WATTS (1984). Até então, a análise clássica de erros consistia em se comparar medições de LE obtidas com o BERB com aquelas determinadas por métodos independentes, como lisimetria, conforme TODD et al. (2000), dentre outros.

Algumas contribuições para análise de erros do balanço de energia baseado na razão de Bowen foram fornecidas por ANGUS & WATTS (1984), SILVA (2000), LOPES (1999), UNLAND et al. (1996) e PEREZ et al. (1999).

Verifica-se que sobre condições úmidas, o método do balanço de energia baseado na razão de Bowen para estimar a evapotranspiração pode dar bons resultados, mas pode não ser muito preciso sob condições áridas ou semi-áridas, ou com considerável advecção de energia, mesmo sob condições úmidas (ANGUS & WATTS, 1984).

Nesse sentido, este estudo objetivou aplicar a proposta de ANGUS & WATTS (1984) para determinar os erros associados às medidas da razão de Bowen e do fluxo de calor latente em condições semi-áridas, sobre um pomar de goiabeira irrigada.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento de campo foi conduzido em um pomar de goiabeira, na região do Submédio São Francisco, distante aproximadamente 8,5 km da cidade de Petrolina-PE (09°09'S; 40°22'W; 365 m). Segundo a classificação climática de W. Koeppen, a região apresenta clima do tipo BSW<sub>h</sub>, semi-árido (Reddy & Amorim Neto, 1993).

Na torre micrometeorológica foram instalados: um saldo radiômetro para leitura da radiação líquida (R<sub>n</sub>) sobre o dossel e dois psicrômetros para medir a

temperatura do ar em bulbo seco e úmido em dois níveis acima do dossel. O fluxo de calor no solo (G) foi medido por meio de dois fluxímetros instalados a 0,02 m de profundidade sob a copa. Estes sensores foram conectados a um sistema automático de aquisição de dados.

A razão de Bowen ( $\beta$ ), que expressa a razão entre os fluxos de calor sensível (H) e de calor latente (LE), é dada por:

$$\beta = \frac{H}{LE} = \frac{-\rho c_p K_h \frac{dT}{dZ}}{-\rho \lambda K_w \frac{dq}{dZ}} = \frac{P_o c_p K_h \Delta T}{\lambda 0,622 K_w \Delta e} = \gamma \frac{K_h \Delta T}{K_w \Delta e} \quad (1)$$

onde  $\gamma$  é o fator psicrométrico (kPa/°C), T é a temperatura do ar (°C),  $e$  é a pressão parcial do vapor d'água,  $K_h$  e  $K_w$  são os coeficientes de difusão turbulenta de calor sensível e de vapor d'água, respectivamente. Na ausência de advecção de calor sensível, regional ou local, e em condição de instabilidade atmosférica,  $K_h = K_w$ .

O fluxo de calor latente foi obtido segundo a expressão:

$$LE = \frac{(R_n - G)}{1 + \beta} \quad (2)$$

Para quantificar os erros instrumentais associados a tal método, utilizou-se a proposta de ANGUS & WATTS (1984), que possibilita calcular o erro instrumental relativo do fluxo de calor latente (ERLE) e da razão de Bowen (ERB), e seus erros absolutos ( $\delta LE$  e  $\delta \beta$ ).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos erros instrumentais cometidos no cálculo da razão de Bowen e do fluxo de calor latente obtida pelo método proposto por ANGUS & WATTS (1984) é mostrada na Figura 1.

Como pode ser visto na Figura 1a o erro relativo no cálculo da razão de Bowen, durante a maior parte do dia, oscilou entre 20% e 40%, com extremos ocorrendo por volta das 7h30 (60%) e no final da tarde (10%). Já o erro relativo no cálculo de LE situou-se em torno de 20% para a maior parte do período diurno, e com tendência de acompanhar o erro relativo da razão de Bowen. Com relação ao erro absoluto associado ao cálculo de LE (Figura 1b), pode-se perceber que o mesmo é tanto maior quanto maior for R<sub>n</sub>, com máximo ocorrendo por volta do meio dia (110 W/m<sup>2</sup>). Já o erro absoluto no cálculo da razão de Bowen

<sup>1</sup> Doutoranda do Curso de Doutorado em Recursos Naturais, UFCG. Av. Aprígio Veloso, 882, Bodocongó. Campina Grande, PB – CEP: 58109 – 970. E-mail: [magna@cpatsa.embrapa.br](mailto:magna@cpatsa.embrapa.br). Bolsista CNPq.

<sup>2</sup> Prof. Dr. do Departamento de Ciências Atmosféricas, UFCG. Av. Aprígio Veloso, 882, Bodocongó. Campina Grande, PB – CEP: 58109 – 970. E-mail: [bernardo@dca.ufcg.edu.br](mailto:bernardo@dca.ufcg.edu.br), [pvieira@dca.ufcg.edu.br](mailto:pvieira@dca.ufcg.edu.br). Bolsista do CNPq.

<sup>3</sup> Pesquisador, Dr. Embrapa Semi Árido, BR 428 Km 152, Zona Rural, S/n. Caixa Postal 23. Petrolina, PE - CEP: 56300 - 000. E-mail: [monteiro@cpatsa.embrapa.br](mailto:monteiro@cpatsa.embrapa.br)

<sup>4</sup> Doutorando em Sensoriamento Remoto, INPE. E-mail [pabricio@ltid.inpe.br](mailto:pabricio@ltid.inpe.br)

(Figura 1c) tornou-se muito pequeno, durante maior parte do período diurno, devido ao pequeno valor de  $\beta$ . Apenas nas primeiras horas da manhã verificou-se grande variação nos valores.

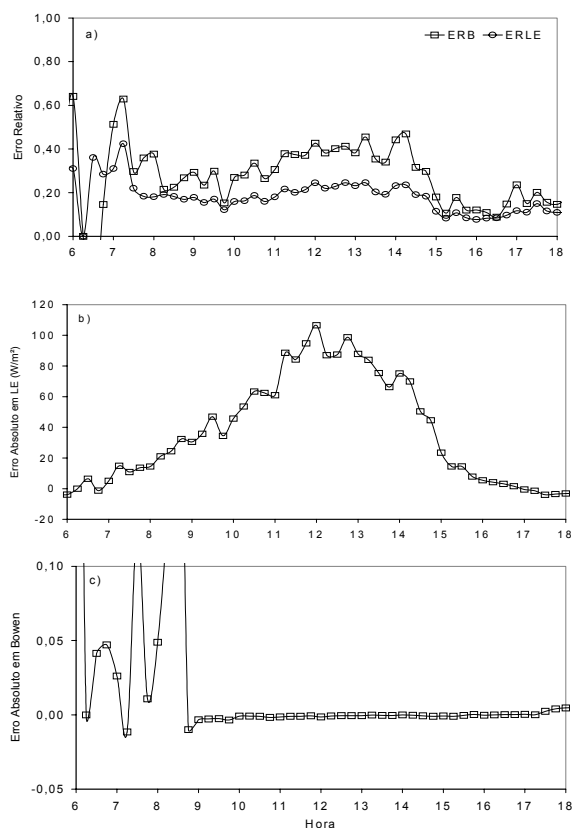


Figura 1. Erro relativo (a) e absoluto da determinação do fluxo de calor latente (b) e da razão de Bowen (c) médio da fase de brotação e crescimento vegetativo, sobre a cultura da goiabeira em Petrolina – PE

LOPES (1999) verificou erros relativos no cálculo da razão de Bowen, variando entre -20% e 30% e entre 5% e 10% no cálculo de LE, para períodos de 24 horas. Uma análise de erros mais detalhada foi realizada por SILVA (2000), que encontrou erro no cálculo do fluxo de calor latente variando de 14%, para condições de baixa demanda evaporativa a 41%, para condições de alta demanda evaporativa, com valores intermediários em torno de 24%, em condições de moderada demanda evaporativa. PEREZ et al. (1999) foram mais minuciosos e fizeram uma análise de erros no cálculo da razão de Bowen, atribuindo critérios para rejeição de valores dos fluxos de LE e de H, quando  $-1,3 < \beta < -0,7$ . Eles observaram em média, que, 40% do total de dados correspondentes ao período noturno e a eventos de precipitação ou irrigação foram rejeitados.

Os elevados valores do erro absoluto da razão de Bowen foram resultantes das grandes diferenças de temperatura do bulbo úmido e de bulbo seco. Pode-se perceber que houve uma correspondência entre a diferença de temperatura de bulbo úmido e os erros relativos da razão de Bowen e do fluxo de calor latente, ou seja, quando a diferença de temperatura do bulbo úmido diminuiu, o erro relativo da razão de Bowen sofreu incremento (resultados não mostrados).

Observa-se, ainda, que quanto menor a diferença entre a temperatura do bulbo seco no dois níveis, maiores foram os erros relativos de  $\beta$  e de LE, e vice-versa. SILVA (2000) verificou que as maiores diferenças de temperatura de bulbo úmido (-2,28 °C e -1,88 °C) associadas às altas percentagens de erros da razão de Bowen (4,4% e 3,2%), no período de alta demanda evaporativa, produziram os maiores erros no fluxo de calor latente (35,2% e 40,9%).

## CONCLUSÕES

O pequeno erro absoluto na razão de Bowen é devido ao pequeno valor da própria razão de Bowen. O erro absoluto no fluxo de calor latente (LE) é proporcional ao valor do próprio LE, resultando em média variando de 20 W/m<sup>2</sup> a 70 W/m<sup>2</sup>.

O erro relativo na determinação de LE foi da ordem de 20% para a maioria dos dias estudados. O erro relativo de LE (ERLE) é aproximadamente igual à metade do erro relativo em  $\beta$  (ERB), sendo sua relação representada pela seguinte equação:  $ERLE = 0,4859 \times ERB + 0,0395$ , com  $r^2 = 0,9243$ .

Além da determinação dos erros instrumentais nas medidas do fluxo de calor latente e da razão de Bowen utilizando-se psicrômetros, é necessário um bom entendimento dos processos físicos e das relações fluxo-gradiente para a correta identificação dos valores errôneos da razão de Bowen, bem como a definição de equações para estimativa dos mesmos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANGUS, D. E.; WATTS, P. J. Evapotranspiration How good is the Bowen ratio method? **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 8, p. 133-150, 1984.
- BOWEN, I. S. The ration of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface. **Physical Review**, New York, v. 27, p. 779-787. 1926.
- FUCHS, M.; TANNER, C. B. Error analysis of Bowen ratio measured by differential psychrometry. **Agricultural Meteorological**, Amsterdam, v. 7, n. 1, p. 329-334, 1970.
- LOPES, P. M. O. **Evapotranspiração da mangueira na região do Submédio São Francisco**. Campina Grande: DCA/CCT/UFPB, 1999. 108p. (Dissertação de Mestrado).
- PEREZ, P. J.; CASTELLVI, F.; IBAÑEZ, M.; et al. Assessment of reliability of Bowen ratio method for partitioning fluxes. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 97, p. 141-150, 1999.
- SILVA, V. P. R. **Estimativa das necessidades hídricas da mangueira**. Campina Grande: DCA/CCT/UFPB, 2000. 129p. (Tese de Doutorado).
- TODD, R. W.; EVETT, S. R.; HOWELL, T. A. The Bowen ratio-energy balance method for estimating latent heat flux of irrigated alfalfa evaluated in a semi-arid, advective environment. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 103, p. 335-348, 2000.
- UNLAND, H. E.; HOUSER, P. R.; SHUTTLEWORTH, W. J.; YANG, Z. Surface flux measurement and modeling at a semi-arid Sonoran Desert site. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 82, p. 119-153, 1996.